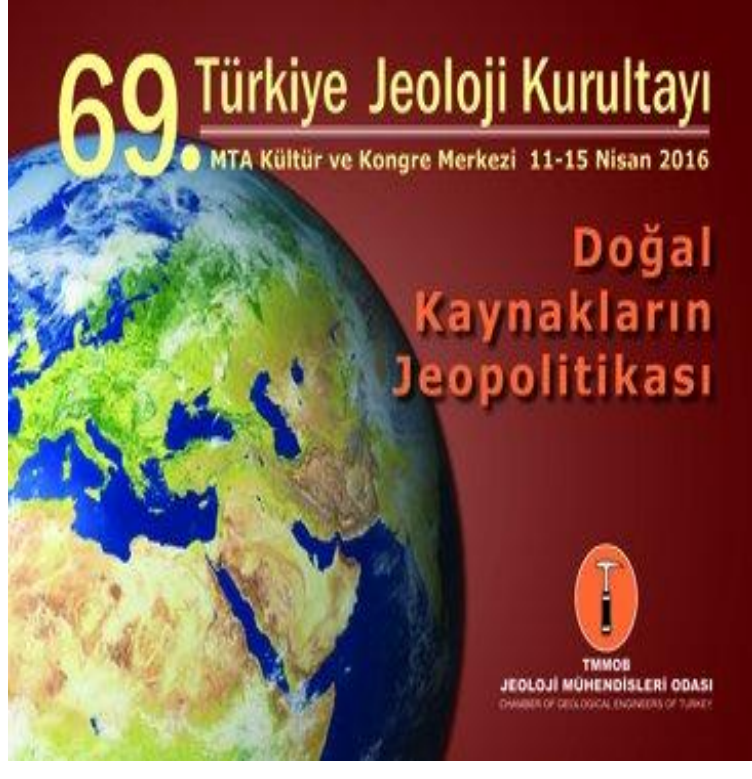


Güvendik-Malgaçemir (Aydın) arasında bulunan jeotermal suların hidrojeolojik, hidrojeokimyasal ve izotop jeokimyasal özellikleri

Seda Zehra Tekkanat^a, Nevzat Özgür^b

^a Muratpaşa Belediyesi, İmar ve Şehircilik Müdürlüğü, Antalya

^b Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Isparta

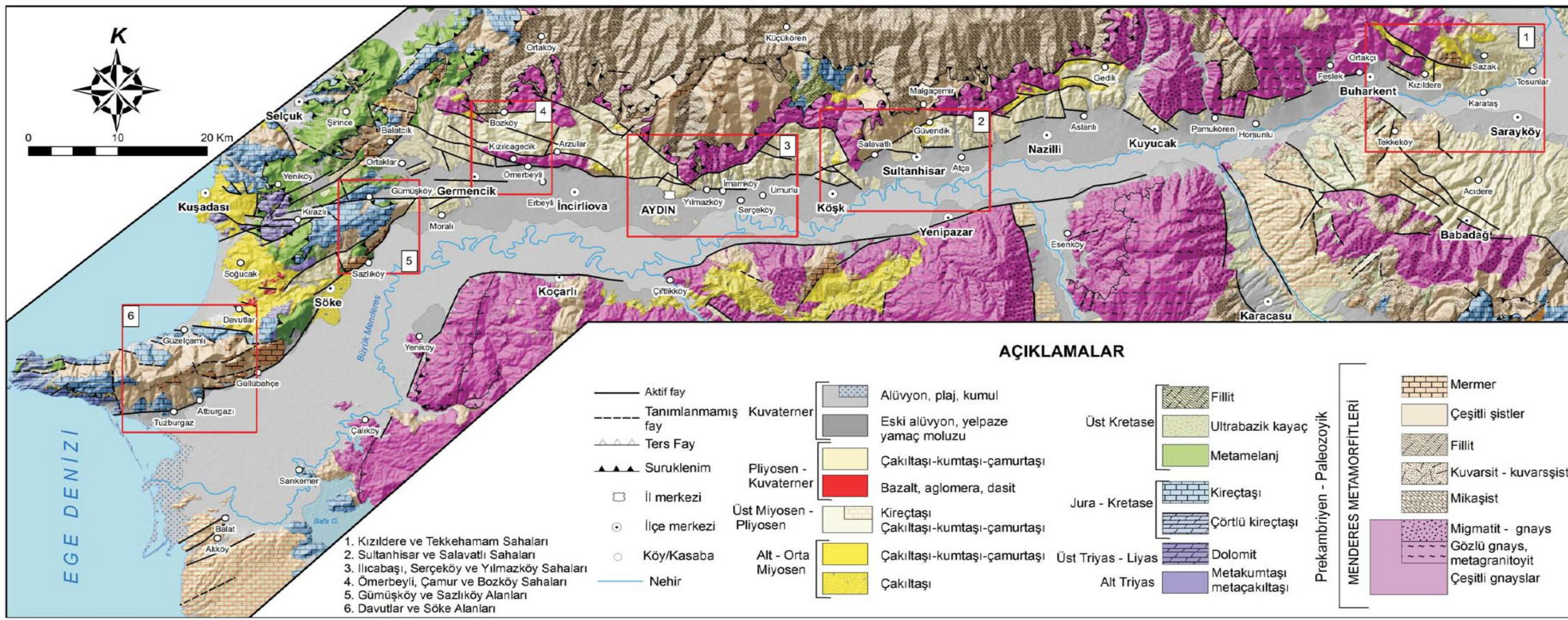


ÖZ

Çalışılan alan Batı Anadolu Bölgesine bulunan Menderes Masifi Büyük Menderes kıtasal rift zonunda yer alan Aydın ilinin 29 km doğusunda bulunan Sultanhisar ilçesinin 10 km kuzeyindedir. Çalışma alanı jeolojik olarak Paleozoyik yaşlı metagranitler, kloritistler, mermerler, bunların üzerine bindirmeyle gelen amfibol şistler, gnayslar, Genç Miyosen yaşlı gabrolar, Miyosen yaşlı kil, marn ve kumtaşı ardalanması, Pliyosen yaşlı kil, marn ve kumtaşı ardalanması ile Kuvaterner yaşlı alüvyon, traverten ve yamaç molozundan oluşmaktadır. Bu amaçla (1) yöre jeolojisi güncellenmiş, (2) özellikle sıcak sular ile etkileşimi olan rezervuar kayaçlarının petrografik tanımı yapılmış, (3) bu rezervuar kayaçlarının kayaç-sıcak su etkileşiminden hasil olan hidrotermal alterasyon mineralojisi yoğun kayaç determinasyonları çalışmaları ile ortaya çıkarılmış, (4) açılan kuyudan alınacak su örneklerinde hidrojeokimyasal ve izotop jeokimyasal özellikler araştırılmış ve (5) açılan kuyu baz alınarak burada bulunan jeotermal sular hidrojeolojik olarak modellenmiştir. Burada derin kökenli jeotermal sular Na-HCO₃ tipinde ve güvenilir jeokimyasal termometreler yardımı ile 130 ile 140 °C arasında değişen rezervuar sıcaklıkları vermektedir.

1. GİRİŞ

Ülkemizde jeotermal sular, tektonik ve volkanik aktiviteye bağlı olarak geniş yayılım gösterirler. Bu dağılımda yüksek entalpili veya yüksek sıcaklıklı sular daha çok Menderes Masifi önce sıkışma ve sonra gerilme tektoniği sonucu oluşan kıtasal rift zonlarına bağlı olarak oluşurlar. Bu tür yüksek sıcaklıklı suları ve bunlara bağlı olarak kurulan ve 2018 yılına kadar 750-860 MWe arasında olan bir güce ulaşması beklenen jeotermal sularla ilgili jeotermal santralleri Büyük Menderes rift zonunda kurulmuş bulunmaktadır. Bu Büyük Menderes kıtasal rift zonunda çok sayıda jeotermal su ve bunlara bağlı olarak jeotermal santraller yer almaktadır (Şekil 1). Bunlardan biri Malgaçemir-Güvendik arasında bulunan ve arama ve işletme ruhsatı Aydın İli Büyükşehir Belediyesine ait olan çalışma alanıdır (Şekil 1). Bu jeotermal alanda 1980'li yıllar başına kadar sıcaklıkları 35 °C'ye ulaşan 2 adet sıcak su çıkışı bulunmaktaydı. Bunlardan 31.2 °C olan Güvendik kaynağı günümüzde kurumuş olarak bulunmaktadır. Bu alanda 850 m derinliğinde açılan bir adet arama, üretim ve/veya geri basma sondaj kuyusu açılmıştır. Bu çalışmanın amacı (1) Güvendik-Malgaçemir (Aydın) arasında bulunan jeotermal alanın jeoloji haritasının güncellenmesi, (2) mineralojik, petrografik ve jeokimyasal çalışma yöntemleriyle jeotermal akışkan-kayaç etkileşimini tanımlamak, (3) jeotermal suların hidrojeolojik, hidrojeokimyasal ve izotop jeokimyasal yöntemlerle oluşumunu ve gelişimini incelemek ve (4) jeotermal akışkan-kayaç etkileşimi çerçevesinde jeotermal sistemin oluşumunu bir model içinde ortaya koymaktır.



Şekil 1. Malgaçemir-Güvendik arası dahil Büyük Menderes kıtasal rift zonunda jeotermal alanlar ve jeolojisi (Karakuş, 2010).



Şekil 2. Malgaçemir sıcak su kaynağında in-situ ölçümleri ve hidrojeokimyasal ve izotop jeokimyasal analizler için su örneği alımı.

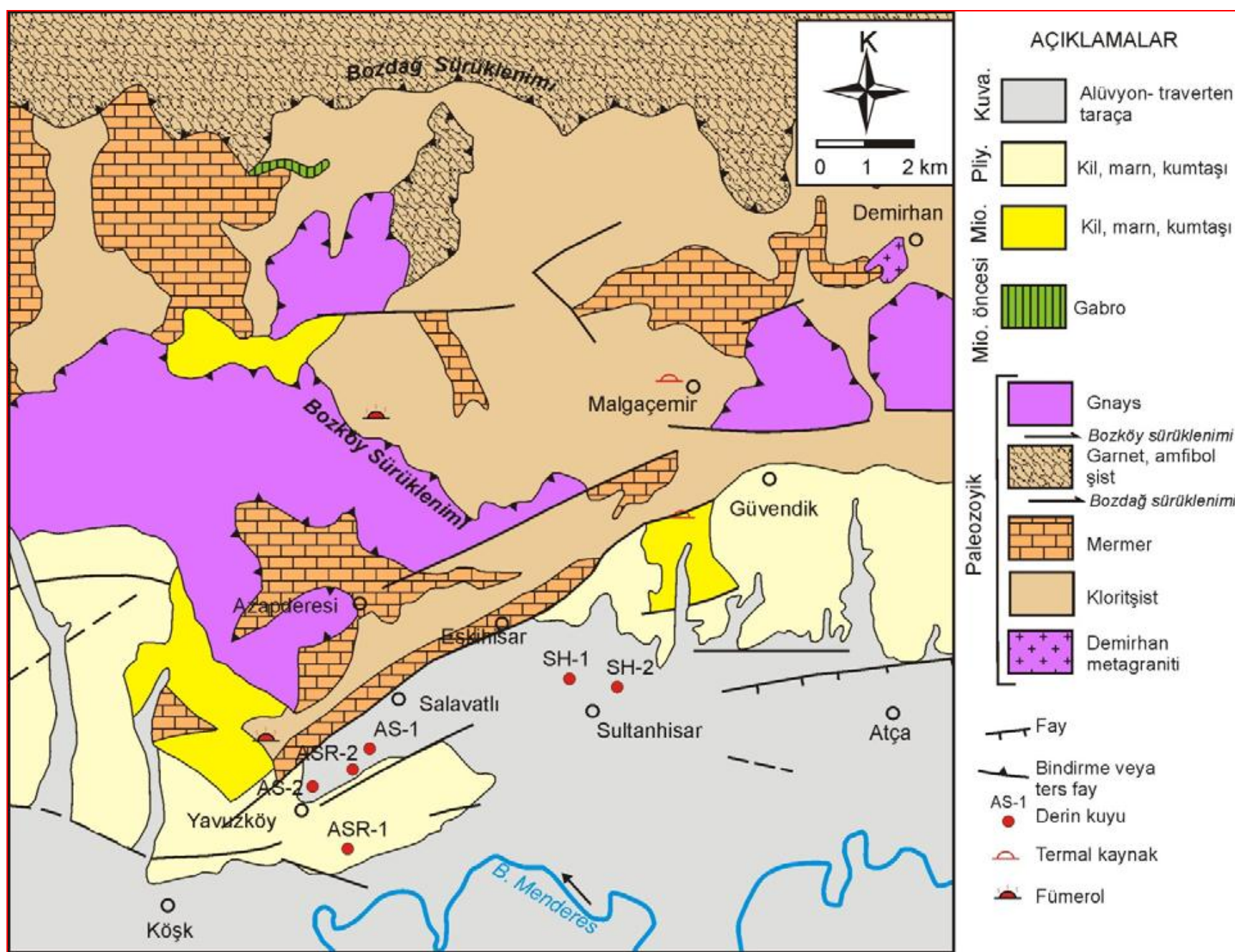
2. MATERYAL VE YÖNTEM

Arazi çalışmaları kapsamında çalışma alanı ve yakın çevresinden Malgaçemir sıcak su kaynağı ve Güvendik araştırma, üretim ve/veya reinjeksiyon sondajı olmak üzere 2 (iki) farklı lokasyonda sıcak su örnekleri alınmıştır ve bunlara ait in-situ ölçümleri (koordinatlar, su sıcaklığı, pH, Eh, çözünmüş oksijen miktarı, elektriksel iletkenlik, pH değerine bağlı olarak HCO₃⁻ ve CO₃²⁻ miktarını belirlemek için alkalilik değerleri ve Rn değerleri) gerçekleştirilmiştir (Şekil 2). Burada alınan katyon örneği pH değeri 2 ile 3 arasında olacak şekilde derişik HNO₃ ile korumaya alınmıştır. Bu sıcak su örneklerinde anyon ve katyon analizleri ülkemizde akredite olmuş Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Maden Analizleri ve Teknolojisi Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanından duraylı izotoplar ($\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$) ve trityum (^3H) analizleri için 2 (iki) adet su örneği alınmış ve akredite olmuş Isotech Laboratories, Inc. (Illionis, ABD) İzotop Laboratuvarlarında şu an gerçekleştirilme aşamasındadır. Bu çalışma içinde hidrojeokimyasal ve izotop jeokimyasal değerlendirme ve yorumlarda şimdilik Karakuş (2010) verilerinden yararlanılmıştır.

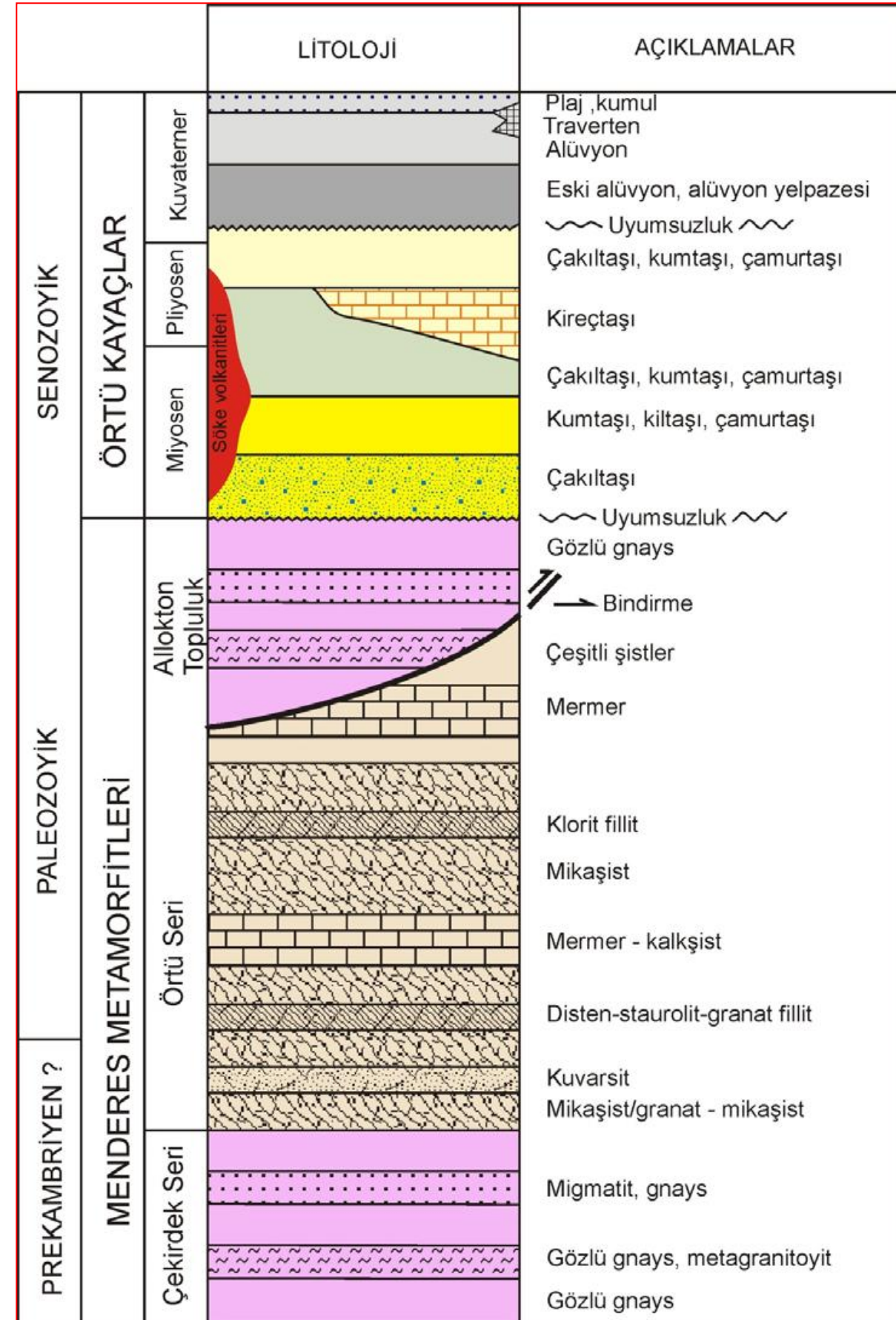
3. ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1 JEOLOJİK KONUM

İnceleme alanı olan Güvendik-Malgaçemir arası ve çevresinin jeolojisi, hidrojeolojisi, hidrojeokimyası, izotop jeokimyası ve yörenin jeotermal potansiyeline yönelik çalışmalar ilk olarak MTA (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara tarafından başlatılmıştır (Karamandere ve Helvacı, 2003; Karahan, 2007; Karakuş, 2010). Çalışılan alanda temeli jeolojik olarak Paleozoyik yaşlı metagranitler, kloritist ve mermer ardalanması, bunların üzerine Bozdak bindirmesi ile gelen granatlı amfibolistler ve hepsinin üzerine Bozköy bindirmesi ile gelen gnayslardan oluşmaktadır (Şekil 3 ve 4). Bu metamorfik kayaçlar Miyosen öncesi yaşa sahip gabrolar tarafından kesilirler ve Miyosen ve Pliyosen yaşlı kil, marn ve kumtaşı ardalanmasından oluşan birimler tarafından uyumlu olarak örtülürler. Burada Kuvaterner yaşlı alüvyon, traverten ve yamaç molozu en genç birimi oluşturmaktadır. Yörede Germençik doğusunda, Söke Batısında yer alan ve yer yer Pliyosen çökellerini kesen muhtemelen Orta Miyosen yaşlı genç volkanik kayaçlar belirlenmiştir. Bu volkanik kayaçlar Söke batısında bazalt ve andezitler, Germençik batısında Ortaklar kay-nında ise, dasit ve andezitler bulunmaktadır. Söke batısındaki volkanik çıkışlar KD-GB doğrultulu lav domu zinciri şeklinde görülmektedir. Ortaklar kuzeyinde Çataltepe ve Kaynaktaş mevkiinde görülen dasit çıkışı 3 km² lik bir alanı kaplamaktadır. Taze kaya sarımsı, sert, keskin köşeli kırıklı ve eklemler takımları belirgindir. Uzanımı Ömerbeyli fayı doğrultusunda olup BKB-DGD şeklindedir. Asit volkanik kayaçlar olarak görülen ve jeolojik haritaya işaretlenen bir volkanik çıkışların jeotermal enerji açısından ilk değerlendirilmeler yapıldırın sahanın olumlu olacağına bir delili olarak görülmüştür. Aynı zamanda yöredeki yüksek ısı gradyanının açıklanmasına yardımcı olmuştur (Şimşek, 1981). Ayrıca, ÖB-6 sondajında 760-770 metrelerde olivin bazaltı dayk kesilmiştir (Çiçekli ve diğ., 1986). Bu rezervuarlar, yoğun graben tektoniği altında oluşan basamaklı fay sistemi ile sert ve kırılğan litolojilerin ikincil gözeneklilik ve geçirimlilik kazanması sonucu oluşmuştur. Çalışılan alanda bulunan kili şistler jeotermal rezervuar için geçirimsiz taban kayacını oluşturan şistler içindeki mermer ardalanması da rezervuar kayacını oluşturmaktadır. Burada geçirimsiz örtü kayacını da kili şistler oluşturmaktadır.



Şekil 3. Malgaçemir-Güvendik arasının jeoloji haritası (Karamandere ve Helvacı, 2003; Karakuş, 2010).



Şekil 4. Malgaçemir-Güvendik arasının stratigrafik kesiti (Şimşek ve Gülgör, 1988; Candan ve diğ., 1992):

3.2 Hidrojeoloji, hidrojeokimya ve izotop jeokimyası

3.2.1 Hidrojeoloji

İnceleme alanında yeraltısuyu davranışı daha çok morfolojik kriterler ve çeşitli karşılaştırmalarla anlaşılabilir olmaktadır. Burada özellikle Büyük Menderes rift zone ile Küçük Menderes rift zone arasında bulunan horsta yeraltısuyu akım yönü kuzeyden güneye doğrudur ve böylece sıcak sular beslenme sağlamaktadır. Burada Horst zirvesinden jeotermal beslenme alanına kadar olan mesafe 4-6 km arasında değişmektedir. Ayrıca jeotermal alanın beslenme alanı Sultanhisar jeotermal alanı dahil yaklaşık 10 ile 100 km² arasındadır. Genelde Büyük Menderes kıtasal rift zone yıllık ortalama yağış miktarı 430,15 mm ve yıllık ortalama sıcaklık 17,6 °C ile kıtasal iklim özelliği göstermektedir. Burada yağış Aralık ve Mart aylarında olmak üzere kış aylarında olur ve buna karşın yılın diğer aylarında yöre kuraktır. Bu uzun zaman devam eden kuraklık yeraltısularında bir eksikliğe neden olur ve bu yüzden yüzey suları çalışılan alanda termal suların beslenmesinde önemli bir rol oynamamaktadır. Çalışılan alanda Paleozoyik yaşlı şistler içinde bulunan mermerler ardalanmaları ana rezervuarı oluşturmaktadır. Bunlara ilaveten üçüncü derin rezervuar olarak kırık ve çatlakları ile Prekambriyen-Paleozoyik yaşlı gnayslar çalışma alanında önemli rol oynamaktadır.

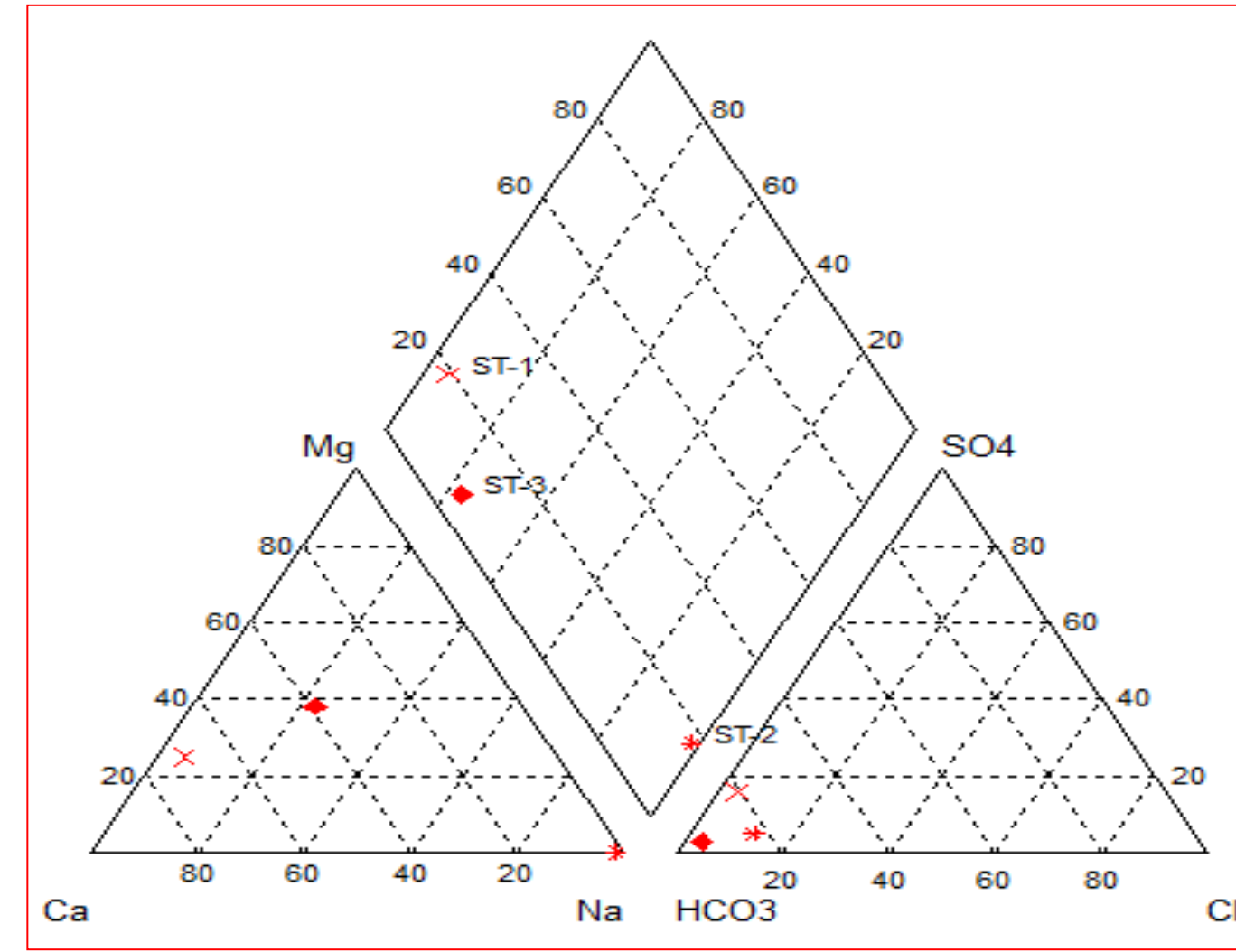
3.2.2 Hidrojeokimya

Güvendik-Malgaçemir arasında bulunan jeotermal suların 850 m derinliğe ulaşan araştırma, üretim ve/veya reinjeksiyon kuyusundan alınan sıcak su örneği (ST-2) Na-HCO₃ tipi ve Malgaçemir kaynağından alınan su örneği (ST-1) eskiden Güvendik sıcak su kaynağından alınan su örneği (ST-3) Ca-Mg-(Na)-HCO₃ tipi sular olarak sınıflandırılabilir (Şekil 5). Güvendik araştırma, üretim ve/veya reinjeksiyon kuyusundan Na+K> Ca> Mg şeklinde katyon sıralaması söz konusu iken bu durum Malgaçemir sıcak su kaynağı ve eski Güvendik kaynağında (Karakuş, 2010) aşağı yukarı Ca>Mg>Na+K şeklindedir. Bu karışıklık daha çok jeotermal sulara soğuk yeraltısuyu karışımı ile açıklanabilir. Bunların yanında anyon sıralaması HCO₃⁻>Cl⁻>SO₄²⁻ (araştırma, üretim ve/veya üretim kuyusunda) veya HCO₃⁻>SO₄²⁻Cl⁻ (malgaçemir ve Güvendik sıcak su kaynaklarında) şeklindedir. İnceleme alanında bulunan araştırma, üretim ve/veya reinjeksiyon kuyusundan elde edilen sıcak sular da 53 mg/l değerine ulaşan B³⁺ değerleri söz konusudur (Çizelge 1) ve bu değer doğuda Kızıldere'den Germençik yöresine doğru artan değerler ile tam uyarlık göstermektedir. Burada çalışma alanı Ege Denizi'ne yakın olduğundan doğrudan jeotermal sulara deniz suyu girişi ile ilişkin olabilir. Ayrıca Malgaçemir-Güvendik arası jeotermal sularının rezervuar sıcaklığını belirlemede kuvars (buhar kaybı yok; Fournier, 1977), kuvars (100 °C'de buhar kaybı var; Fournier, 1977) ve kuvars (D'Amore ve Arnorsson, 2000) en uygun jeokimyasal termometre olmakta ve 133 ile 138 °C arasında değişen rezervuar sıcaklıkları vermektedir.

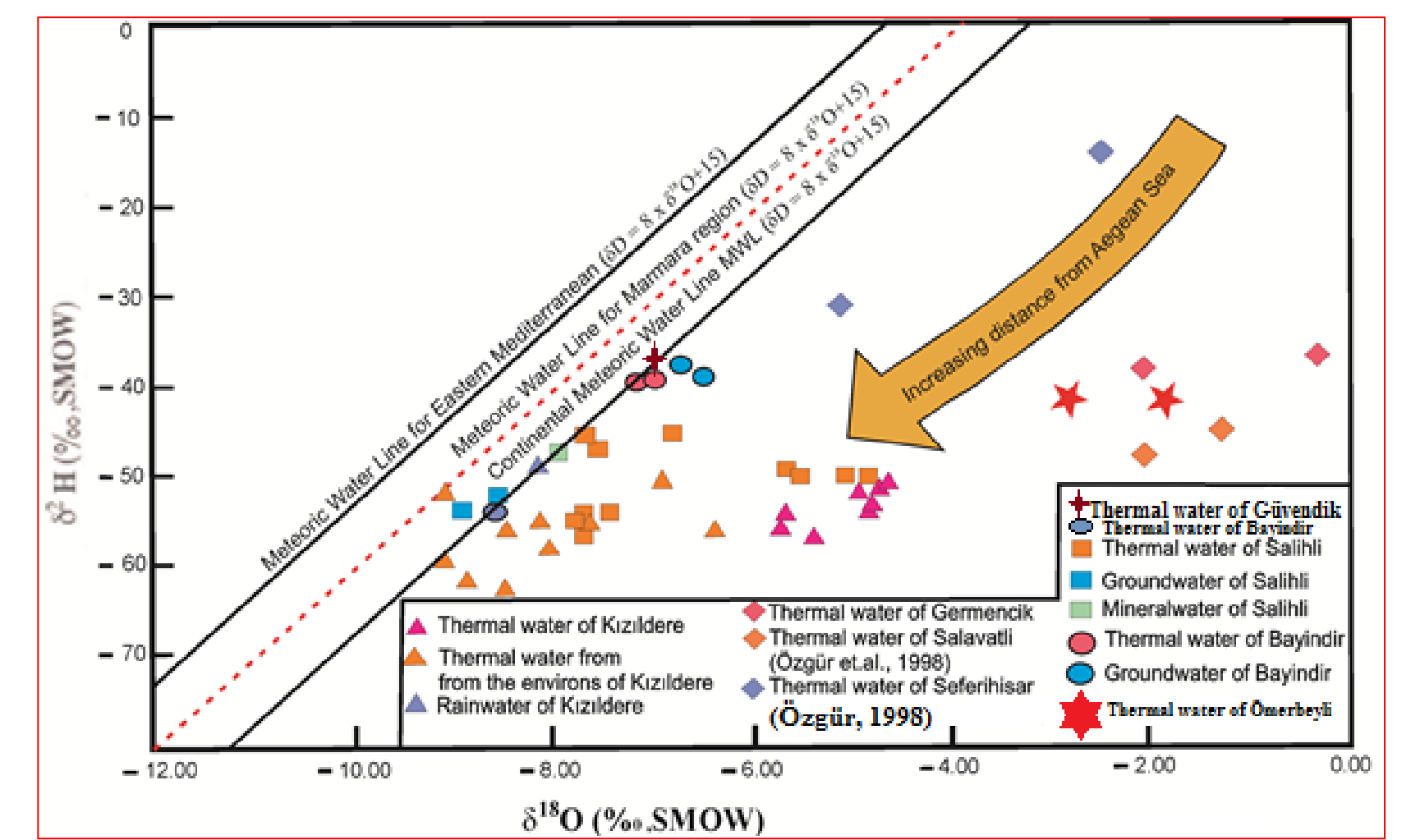
Çizelge 1. Güvendik-Malgaçemir arası alanın jeotermal sularının in-situ ölçümleri hidrojeokimyasal analizleri

Örnek	Lokasyon	T (°C)	pH	Eh (mV)	O ₂ (mg/l)	EC (µS/cm)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	CO ₃ ²⁻ (mg/l)
ST-1	Malgaçemir Kaynağı	31,5	7,34	252,8	4,7	957	567,3	bdl
ST-2	Güvendik üretim kuyusu	133	8,86	-403	0,1	5010	3050	276
ST-3	Güvendik kaynağı	31,2	7,98			1610	984	

Örnek	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SiO ₂	Al ³⁺	B ³⁺	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	PO ₄ ³⁻	F ⁻
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
ST-1	12,1	2,81	148	32,4	15,6	0,2	0,1	89,3	0,8	14	0,1	0,2
ST-2	1312	103	12,6	1,58	198	0,2	53	149	0,1	261	1,3	
ST-3	93,0	5,07	136,7	81,8	101	0,01	4,75	25,4	0,1	20,3		



Şeki 5. Malgaçemir-Güvendik arası jeotermal sulun Piper diyagramında gösterilmesi.



Şeki 6. Malgaçemir-Güvendik arası jeotermal sularının $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ diyagramında gösterilmesi.

4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Çalışılan alan Paleozoyik yaşlı Menderes Masifi metamorfik kayaçları ile Miyosen öncesi gabrolar ve Miyosen, Pliyosen ve Kuvaterner yaşlı tortul kayaçlardan oluşmaktadır. Burada Paleozoyik yaşlı kili şistler uygun olan geçirimsizlikleri nedeniyle şistler içinde bulunan mermer ardalanmalarının rezervuar kayacı oluşumunda taban kayacı özelliği göstermektedir. Belirtilen rezervuar kayacı üzerinde bulunan Paleozoyik yaşlı kili şistler ile Miyosen ve Pliyosen yaşlı kil, marn ve kumtaşı ardalanmaları sedimanter kayaçlar önemli rol oynamaktadırlar. Malgaçemir-güvendik arası derin kökenli jeotermal sular Na-HCO₃ tipi sular olarak sınıflandırılabilir (Şekil 5; Çizelge 1). İnceleme alanında bulunan sıcak sularla yaklaşık 53 mg/l değerine ulaşan B³⁺ değerleri söz konusudur ve bu değerler çalışma alanı Ege Denizi'ne yakın olduğundan doğrudan jeotermal sulara deniz suyu girişi ile ilişkin olabilir. Ayrıca Malgaçemir-Güvendik arası jeotermal sularının rezervuar sıcaklığını belirlemede kuvars (buhar kaybı yok; Fournier, 1977), kuvars (100 °C'de buhar kaybı var) ve kuvars en uygun jeokimyasal termometre olmakta ve 133 ile 138 °C arasında değişen rezervuar sıcaklıkları vermektedir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenen 4491-YL1-15 numaralı "Güvendik-Malgaçemir (Aydın) arasında bulunan jeotermal suların hidrojeolojik, hidrojeokimyasal ve izotop jeokimyasal özellikleri" adlı araştırma projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir.

6. KAYNAKLAR

- CANDAN, O., DORA, O.Ö., KUN, N., AKAL, C. ve KORLAY, E., 1992, Aydın Dağları (Menderes Masifi) güney kesimindeki allokton metamorfik birimler, Türkiye. Petrol Jeologları Derneği Bülteni 4, S. 93-110.
- ÇİÇEKLİ K., KARAMANDERESİ İ. H. ve GÜNER A., 1986), Aydın-Germençik-Ömerbeyli Jeotermal Sahası Ömerbeyli 6 derin jeotermal sondaj bitirme raporu. M.T.A., Ankara.
- D'AMORE, F. ve ARNORSSON, S., 2000, Hydrogen and oxygen isotope fractionation during boiling. Isotopic and Chemical Techniques in Geothermal Exploration, Development and Use, Ed: Arnorsson, S., IAEA, Vienna, S. 229-240.
- FOURNIER, R. O., 1977, Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems. Geothermics 5, S. 41-50.
- KARAMANDERESİ, İ. H. ve HELVACI, C., 2003, Geology and hydrothermal alteration of the Aydın-Salavatlı geothermal field, Western Anatolia, Turkey. Turk. J. Earth Sci. 12, S.175-198.
- KARAHAN, Ç., 2007, Aydın-Sultanhisar SH-1 ve SH-2 Sıcak Su Sondajları Kuyu Bitirme Raporu, MTA, Ankara, 53 S..
- KARAKUŞ, H., 2010, Büyük Menderes grabenindeki jeotermal sistemlerin jeokimyasal ve izotop teknikleri ile incelenmesi. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 213 S.
- ÖZGÜR, N., 1998, Aktive und fossile Geothermalsysteme in den kontinentalen Riftzonen des Menderes-Massives, W-Anatolien/Türkei: Freie Universitaet Berlin, Habilitationsschrift, 171 S.
- ÖZGÜR, N., PEKDEĞER, A., WOLF, M., STICHLER, W., SEILER, K. P. ve SATIR, M., 1998, Hydrogeochemical and isotope geochemical features of the thermal waters of Kızılder, Salavatlı and Germençik in the rift zone of the Büyük Menderes, Western Anatolia, Turkey: Preliminary studies, Int. 9th Symp. on Water – rock Interaction, 30 March - 3 April 1998, Taupo, New Zealand, Eds: G.B. Aherat and J.R. Hulston, Balkema, Rotterdam, S. 645- 648.
- ŞİMŞEK Ş. ve GÜLGÖR A., 1988, Aydın Germençik-Büyükdere jeotermal alanının önizöltilme raporu. MTA rapor no. 8451. Ankara.
- TEKKANAT, S. Z., 2016, "Güvendik-Malgaçemir (Aydın) arasında bulunan jeotermal suların hidrojeolojik, hidrojeokimyasal ve izotop jeokimyasal özellikleri. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi (Hazırlanmakta).